

THESIS

WÜRZBURG

1967

Aus der Anaesthesie-Abteilung der Chirurgischen Universitätsklinik Würzburg

Direktor: Prof. Dr.med. W. Wachsmuth

---

UNTERSUCHUNGEN ZUR FUNKTIONSWEISE EINES  
MODERNEN SAUERSTOFFZELTES

INAUGURAL - DISSERTATION

LANE MEDICAL LIBRARY  
STANFORD UNIVERSITY  
300 PASTEUR ROAD  
PALO ALTO, CALIFORNIA

verfaßt und der  
Hohen Medizinischen Fakultät  
der  
Julius - Maximilians - Universität Würzburg  
zur  
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von  
Siegfried Glück  
aus Kaufbeuren

Würzburg 1967







Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA40153518\\_0074](https://archive.org/details/IA40153518_0074)

Aus der Anaesthesie-Abteilung der Chirurgischen Universitätsklinik Würzburg

Direktor: Prof. Dr.med. W. Wachsmuth

---

UNTERSUCHUNGEN ZUR FUNKTIONSWEISE EINES  
MODERNEN SAUERSTOFFZELTES

INAUGURAL - DISSERTATION

verfaßt und der  
Hohen Medizinischen Fakultät  
der  
Julius - Maximilians - Universität Würzburg  
zur  
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von  
Siegfried Glück  
aus Kaufbeuren

Würzburg 1967

Referent: Privatdozent Dr. med. K. Rehder

Korreferent: Professor Dr. med. W. Wachsmuth

Tag der Promotion: 13. 12. 67

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität  
Würzburg

## MEINEN ELTERN

# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                                                               | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Einleitung .....                                                                                                              | 1     |
| Geschichtlicher Überblick .....                                                                                               | 2     |
| Beschreibung des verwendeten Sauerstoffzeltes .....                                                                           | 6     |
| Methodik .....                                                                                                                | 9     |
| Ergebnisse .....                                                                                                              | 11    |
| 1. Temperaturmessungen .....                                                                                                  | 11    |
| 2. Relative Luftfeuchtigkeit .....                                                                                            | 12    |
| 3. Sauerstoffmessungen .....                                                                                                  | 14    |
| a) O <sub>2</sub> -Messungen bei laufendem Betriebs-<br>aggregat .....                                                        | 14    |
| b) O <sub>2</sub> -Messungen bei abgeschaltetem Be-<br>triebsaggregat .....                                                   | 17    |
| 4. Vergleich zwischen BECKMAN Oxygen<br>Analyzer und der Mikromethode nach<br>SCHOLANDER .....                                | 20    |
| 5. Ergebnisse der CO <sub>2</sub> -Messungen bei einem<br>konstanten CO <sub>2</sub> -Zufluß von 500 cm <sup>3</sup> /min ... | 21    |
| Diskussion .....                                                                                                              | 22    |
| Zusammenfassung und Schlußfolgerungen .....                                                                                   | 34    |
| Literatur .....                                                                                                               | 36    |
| Lebenslauf                                                                                                                    |       |

## EINLEITUNG

Mit der Entdeckung des Sauerstoffs durch Priestly im Jahre 1774 (FAULCONER-KEYS) wurde der Medizin ein Mittel in die Hand gegeben, dessen therapeutische Möglichkeiten bis heute noch nicht vollkommen ausgeschöpft sind. Etwa zwei Jahrzehnte später entwickelte LAVOISIER erstmals eine richtige Konzeption des Atemvorganges. Die Entdeckung des Blutkreislaufes durch HARVEY als Voraussetzung für diese Erkenntnisse lag schon über 100 Jahre zurück. Die weitere Entwicklung war sprunghaft, wobei Entdeckungen und Erkenntnisse auf anderen Gebieten der Wissenschaft der Medizin zugute kamen.

Voraussetzung für eine sinngemäße therapeutische Anwendung des Sauerstoffs waren die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Kreislauf- und Atemphysiologie, die von der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts an einen Höhepunkt erreichten und sich mit den Namen P. BERT, HALDANE, BARCROFT, KROGH, STARLING, BOHR, DOUGLAS u. a. verbinden. Die Sauerstofftherapie ist seit langem ein unentbehrlicher Bestandteil der klinischen Medizin geworden. Unter den verschiedenen Anwendungsmethoden wie Nasensonde, O<sub>2</sub>-Maske, intratracheale Insufflation gewährleistet das O<sub>2</sub>-Zelt die für den Patienten angenehmste Art der Sauerstoff-Applikation.

Wir haben uns zur Aufgabe gestellt, an einem Sauerstoff-Zelt <sup>x)</sup> die O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Konzentration in Abhängigkeit vom Gaszufluß und Gasaustausch zu untersuchen. Außerdem wurden Bestimmungen der relativen Feuchtigkeit und der Temperatur im Zelt durchgeführt.

---

x) Sauerstoffzelt der Firma Dräger, Lübeck.

## GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Die Gewinnung von Sauerstoff im Großen durch das Verfahren von LINDE im Jahre 1876 war die Voraussetzung für die Anwendung dieses Gases in der Medizin und Technik. Von diesem Zeitpunkt ab war es möglich, den Sauerstoff entweder in komprimierter Form in Stahlflaschen oder in flüssiger Form zur Verfügung zu stellen. Man geht heute in großen Kliniken mehr und mehr dazu über zentrale Sauerstoffanlagen mit flüssigem Sauerstoff zu speisen.

1921 beschrieb HILL ein einfaches Sauerstoff-Bettzelt und seine Anwendung. In dem Zelt waren nur Kopf und Oberkörper des Patienten eingeschlossen. Die herabhängenden Zeltwände aus Ballonmaterial mit eingesetzten Fenstern wurden unter die Matratze geschoben. Eine Sauerstoffflasche mit Reduzierventil lieferte 5 l Sauerstoff pro Minute ins Zelt. Es besaß bereits eine Luftumwälzanlage mit Atemkalkbehälter zur Absorption von  $\text{CO}_2$ . Der Atemkalk mußte alle acht Stunden ausgewechselt werden. Die Luftzirkulation war so ausgelegt, daß die  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Zelt bei etwa 0,5 % gehalten wurde. Die  $\text{O}_2$ -Konzentration betrug 35 - 37 %. Die Möglichkeit der Kühlung durch den Luftstrom wurde vom Patienten angenehm empfunden.

BARACH beschrieb 1926 ein neues Sauerstoffzelt, das eine kühle Atmosphäre lieferte und für die Patienten recht angenehm war. Es schloß Kopf und Brust des Patienten mit ein. Die Zelthülle hing von einer Haltevorrichtung herunter, die an einem fahrbaren Ständer befestigt war. Das Zeltmaterial bestand aus gummierter Seide, in die zwei Celluloidfenster eingesetzt waren. Auch das Dach des Zeltes enthielt ein solches Fenster, so daß der Patient beobachtet werden konnte. Die Luftumwälzung erfolgte durch einen Ventilator und konnte

zwischen 30 bis 150 Litern pro Minute variiert werden. Zwei große Metallbehälter enthielten Atemkalk und Eis. Der eine faßte 45 Pfund Atemkalk, eine Menge, die gewöhnlich für einen dreitägigen Betrieb ausreichte. Der andere Behälter war mit Eisstücken gefüllt. Die Luft strömte direkt über das Eis, wodurch sie wirkungsvoll gekühlt und gleichzeitig getrocknet wurde; denn an den Eisstücken schlug sich die Feuchtigkeit nieder. Bei einer Luftumwälzung von annähernd 60 Litern pro Minute betrug die Temperatur der Luft ungefähr 9 Grad Celsius und die Temperatur innerhalb des Zelttes ungefähr 17 - 20° C. In den ersten 5 Minuten ließ man 6 l, anschließend nur noch 2 l Sauerstoff pro Minute zufließen. In der Regel brachte dies eine Sauerstoffkonzentration von 40 % innerhalb des Zelttes. BARACH empfahl, die Zeltatmosphäre alle 3 - 4 Stunden zu analysieren.

CAMPBELL und POULTON beschrieben 1938 ein O<sub>2</sub>-Zelt, das mit einer Zuflußmenge von 1 - 3 Litern Sauerstoff pro Minute auskam. CO<sub>2</sub> mußte absorbiert werden.

ANDREWS gab 1943 genaue Anweisungen für die Anwendung der verschiedenen Typen der üblichen Zelte und betonte nachdrücklich die Notwendigkeit häufiger O<sub>2</sub>-Analysen. Er empfahl eine hohe O<sub>2</sub>-Zuflußmenge von 10 - 14 Litern pro Minute, wenn Sauerstoffanalysen nicht ausgeführt werden konnten und wenn im Zelt eine Sauerstoffkonzentration von 50 % aufrechterhalten werden sollte. Wenn die Möglichkeit zu O<sub>2</sub>-Analysen bestand, konnte die Zuflußmenge gegebenenfalls gesenkt werden. ANDREWS war der Meinung, daß Zuflußmengen unter 6 Litern niemals angewendet werden sollten, da die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Zelt auf Werte über 2 % ansteigen könnte.

BARACH beschrieb 1947 ein geschlossenes Kopfzelt mit kleinem Volumen. Über einen Injektor am Sauerstoffzufluß (Venturi-Prinzip) wurde Raumluft angesaugt und zusammen mit dem Sauerstoff ins Zelt geblasen.

Bei relativ niedriger Sauerstoffzufußmenge konnte auf diese Weise das  $\text{CO}_2$  ausgewaschen werden. BARACH errechnete, daß für einen Patienten, der 300 ml  $\text{CO}_2$  pro Minute ausatmete, eine  $\text{O}_2$ -Zufußmenge von 11,5 Litern pro Minute erforderlich war, um die Sauerstoffkonzentration auf 50 % und die  $\text{CO}_2$ -Konzentration unter 1 % zu halten.

JAHN führte 1953 Untersuchungen an Sauerstoffzelten über die Konzentration von Sauerstoff und Kohlendioxyd durch und bestimmte die Zeit, die verging, bis bei verschiedenen  $\text{O}_2$ -Zufußmengen eine  $\text{O}_2$ -Konzentration von 50 % erreicht war. In Tabelle 1 sind diese Ergebnisse wiedergegeben.

| $\text{O}_2$ -Zufuß<br>L/min | Zeit in Minuten<br>bis 50 % $\text{O}_2$ erreicht war | Freiwilliger<br>im Zelt |
|------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| 13,5                         | 27                                                    | nein                    |
| 13,5                         | 32                                                    | ja                      |
| 25,0                         | 12,5                                                  | nein                    |
| 50,0                         | 4,5                                                   | nein                    |
| 100,0                        | 2,5                                                   | nein                    |

Tabelle 1

ZINGG führte 1960 Sauerstoffbestimmungen im arteriellen Blut bei Zufuhr von  $\text{O}_2$  mittels Nasenkatheter, Maske und  $\text{O}_2$ -Zelt durch. Für seine Untersuchungen verwendete er ein Sauerstoffzelt vom Typ "Ohio". Ein Gemisch von Sauerstoff und Zimmerluft wurde von einem Elektromotor am Kopfe in die Zelthülle eingeblasen. Die Feuchtigkeit der

Zeltatmosphäre und die Temperatur, die beliebig gewählt werden konnte, blieben angeblich konstant. Bei vier Versuchen wurde im Zelt die  $N_2$ -Konzentration mit dem Stickstoffmesser nach LUNDIN bei verschiedener  $O_2$ -Zufuhr laufend registriert, wobei die zu analysierende Luft im Bereich des Kopfes des Kranken entnommen wurde. Aus der im Zelt herrschenden  $N_2$ -Konzentration konnte die  $O_2$ -Konzentration errechnet werden, da sich keine meßbaren  $CO_2$ -Mengen im Zelt befanden. Die Galvanometeraus schläge des Stickstoffmessers wurden nach Haldane-Analysen geeicht. ZINGG erhielt folgende Werte:

| $O_2$ -Zufluß<br>L/min | Versuch   |            |             |            | Mittelwert<br>% $O_2$ |
|------------------------|-----------|------------|-------------|------------|-----------------------|
|                        | I % $O_2$ | II % $O_2$ | III % $O_2$ | IV % $O_2$ |                       |
| 3                      | 26        | 27         | 26          | 30         | 27                    |
| 6                      | 30        | 31         | 35          | 35         | 33                    |
| 9                      | 32        | 37         | 42          | -          | 37                    |
| 12                     | 37        | 41         | 49          | 48         | 44                    |

Tabelle 2

## BESCHREIBUNG DES VERWENDETEN SAUERSTOFFZELTES

Das  $O_2$ -Zelt besteht aus einer Zelthülle mit Haltevorrichtung und einem Bedienungsaggregat (Abbildung 1 und 2). Die Zelthülle ist aus Kunststoffmaterial, in das Reißverschlüsse und 2 Öffnungen zum Anschluß an das Bedienungsaggregat eingearbeitet sind. Im aufgebauten Zustand spannt sich die Zelthülle über das ganze Bett. Die freien Ränder werden allseitig sorgfältig unter die Matratze geschoben. Der Luftraum im Zelt beträgt etwa 1 cbm.

Das Bedienungsaggregat selbst steht mit der Zelthülle durch zwei großlumige Stutzen in Verbindung, über die die Zeltluft ständig mit Hilfe eines elektrischen Ventilators umgewälzt und gefiltert wird. Für die Kühlung der Zeltluft sorgt ein Kühlaggregat, das durch einen Thermostat über entsprechende Fühler reguliert werden kann. Die größte erreichbare Temperaturdifferenz zwischen Zeltluft und Außentemperatur beträgt 5 Grad Celsius. Die relative Feuchte wird automatisch reguliert und liegt etwa bei 50 %. Ein Wasserabscheider fängt das am Kühlaggregat niedergeschlagene Wasser auf. Die Sauerstoffzufuhr kann mit Hilfe eines Rotameters zwischen 4 und 15 Litern pro Minute reguliert werden. Ein Bypass ermöglicht einen hohen  $O_2$ -Zufluß, um nach Öffnen des Zeltes in kürzester Zeit wieder die gewünschte Konzentration zu erreichen. Durch einen Düsenvernebler kann zusätzlich Wasser vernebelt werden.

Das Zelt kann sowohl mit  $O_2$  als auch mit Raumluft allein betrieben werden. Ein Schieber auf dem Bedienungspult reguliert die Frischluftzufuhr. Bei Betrieb mit Sauerstoff werden automatisch ca. 23 Liter Raumluft pro Minute angesaugt. Bei Betrieb mit Raumluft ist die zuge-

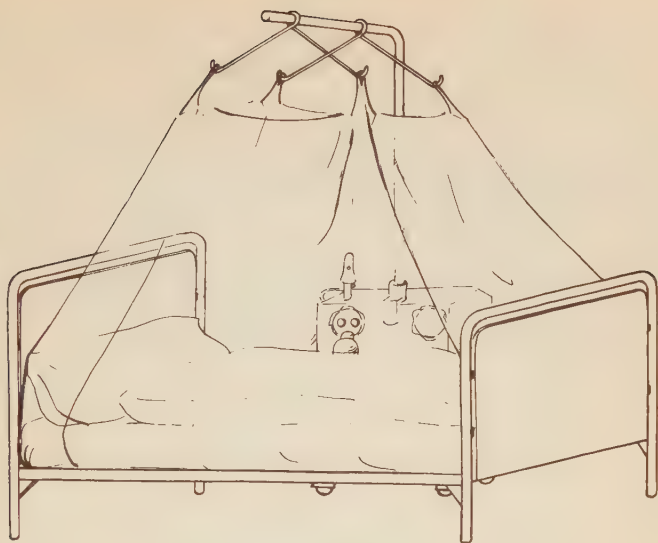


Abb. 1  
Sauerstoffzelt in aufgebautem Zustand

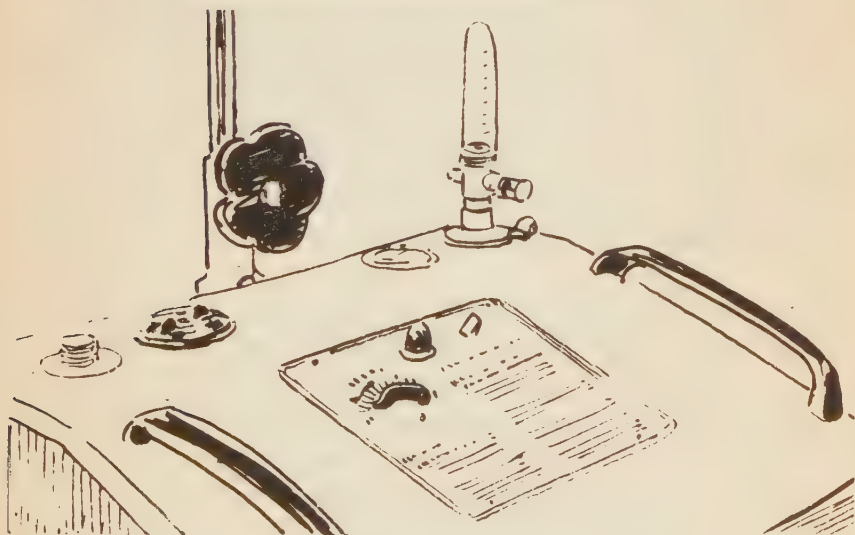


Abb. 2  
Armaturenplatte des Betriebsaggregates

föhrte Luftmenge größer. Auf diese Art und Weise ist ein Spölvorgang gewährleistet, durch den unter anderem das vom Patienten ausgeschiedene Kohlendioxyd aus der Zeltatmosphäre eliminiert wird, so daß die früher üblichen  $\text{CO}_2$ -Absorber überflüssig werden. Beim Ausfall des elektrischen Stromes muß daher die Zelthölle entfernt werden, um ein Ansteigen der  $\text{CO}_2$ -Konzentration auf gefährliche Werte zu vermeiden. Wesentlich ist der sorgfältige Aufbau des Zeltes, da bei zu vielen undichten Stellen die gewünschte  $\text{O}_2$ -Konzentration von maximal 50 % nicht erreicht werden kann.

## METHODIK

Die Versuche wurden am Dräger-Sauerstoffzelt Modell II-M-4350 (= Zelt I) und Modell II-M-6575 (= Zelt II) durchgeführt. Beide Zelte haben das gleiche Wirkungsprinzip, nur der äußere Aufbau ist etwas unterschiedlich. Bei Zelt I steht das Betriebsaggregat an der Seite des Bettes, bei Zelt II am Kopfende des Bettes. Beim Aufbau des Zeltes wurde darauf geachtet, daß der Zeltinnenraum annähernd gleichgroß (ca. 1 cbm) war. Die freien Ränder der Zelthülle wurden so unter die Matratze geschlagen, daß sie einander überdeckten. Dadurch sollte ein unkontrollierbarer Gasverlust durch die Matratze vermieden werden. Die Matratze war nicht mit Plastik oder mit einem Gummituch überzogen. Das Zelt, das jeden Tag neu aufgebaut und ohne Versuchsperson betrieben wurde, blieb während der einzelnen Messungen geschlossen und wurde nur sorgfältig gelüftet, wenn zwei Versuche an einem Tag vorgenommen wurden. Die Versuche wurden einmal mit laufendem Betriebsaggregat und Sauerstoffzufluß und einmal bei abgeschaltetem Betriebsaggregat, nur mit Sauerstoffzufluß durchgeführt. Der Sauerstoffzufluß wurde mit dem am Betriebsaggregat angebrachten geeichten Rotameter reguliert. Das Rotameter wurde auf 4, 7, 10, 12 und 15 Liter pro Minute eingestellt. Pro angegebene Literzahl wurden je drei Messungen an verschiedenen Tagen gemacht.

Der Anstieg der  $O_2$ -Konzentration im Zelt und die erreichbare Endkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit wurde mit Hilfe des BECKMAN Oxygen Analyzer Modell D II gemessen, dessen Ergebnisse durch Gasanalysen mit dem Apparat von SCHOLANDER überprüft wurden. Der Sauerstoffverbrauch des Patienten wurde vernachlässigt, da das Zelt ohne Versuchsperson betrieben wurde. Bei manchen Versuchen wurde die Temperatur am Thermometer des Betriebsaggregates

abgelesen, bei einigen Versuchen auch in Abhängigkeit von der Arbeitsweise des Thermostaten.

Die relative Luftfeuchtigkeit im Zelt wurde mit dem Durothermpräzisionshygrometer <sup>x)</sup> gemessen, dessen Skala durch die Zelthülle hindurch abgelesen werden konnte.

Die CO<sub>2</sub>-Ausscheidung wurde dadurch imitiert, daß mit Hilfe eines

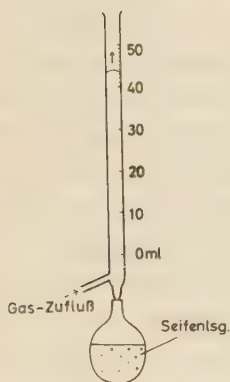


Abb. 3  
Bubble Flow Meter

Bubble Flow Meters (Abb. 3)

500 ccm CO<sub>2</sub> pro Minute in das Zeltinnere geleitet wurden, sobald im Zelt eine konstante Sauerstoffkonzentration vorhanden war. Mit dem Uras <sup>xx)</sup>, der mit verschiedenen Gasgemischen geeicht war, wurde versucht, die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu messen, um festzustellen, wann ein konstanter CO<sub>2</sub>-Gehalt erreicht war. Dann wurde der Gasgehalt des Zeltinneren nach der Mikromethode von SCHOLANDER analysiert.

---

<sup>x)</sup> Präzisionshygrometer der Firma Lufft

<sup>xx)</sup> Uras: Firma Hartmann und Braun

## ERGEBNISSE

### 1. Temperaturmessungen

a) In Tabelle 3 sind die Ergebnisse mehrerer Meßreihen der Temperatur im Raum und im Zeltinnern zusammengestellt. Der Thermostat war auf 20° C eingestellt.

| Rt in °C | Zt in °C |
|----------|----------|
| 22,0     | 19,5     |
| 22,0     | 19,8     |
| 22,0     | 19,2     |
| 22,0     | 19,8     |
| 22,0     | 19,0     |
| 22,0     | 19,8     |
| 22,5     | 19,8     |
| 23,1     | 19,5     |
| 23,1     | 19,2     |
| 23,1     | 18,9     |
| 23,1     | 19,2     |

Tab. 3

Rt = Raumtemperatur in °C

Zt = Zeltinnentemperatur in °C

b) Tabelle 4 gibt die Temperaturschwankungen im Zelt in Abhängigkeit von der Arbeitsweise des Thermostaten wieder. Die Temperatur sank in der Zeit, in der der Thermostat bzw. die Kühlanlage in Betrieb war, durchschnittlich um 0,35 °C ab. Nach Abschalten des Thermostaten wurde beobachtet, daß die Temperatur noch um einige Zehntel-

grad weiter zurück ging.

| Zt in °C |
|----------|
| 19,9 +   |
| 19,6 -   |
| 20,0 +   |
| 19,7 -   |
| 20,0 +   |
| 19,7 -   |
| 20,0 +   |
| 19,6 -   |
| 20,0 +   |
| 19,6 -   |

Tab. 4

Mittelwerte zweier Meßreihen /

Zt = Zeltinnentemperatur in °C

+ = Thermostat schaltet ein

- = Thermostat schaltet aus

## 2. Relative Luftfeuchtigkeit

Tabellen 5a, b und c geben die Werte für die relative Feuchtigkeit im Zelt in Abhängigkeit von der Arbeitsweise des Thermostaten, der Luftumwälzung und des Sauerstoffzuflusses wieder. Bei den Temperaturwerten, bei denen kein + oder - angegeben ist, handelt es sich um Zwischenmessungen zwischen dem Ein- und Ausschalten des Thermostaten.

Die relative Feuchtigkeit im Raum betrug während dieser Messungen bei Tab. 5a 60 %, bei 5b und 5c 64 %. Die Raumtemperatur war bei

| O <sub>2</sub> -Zufluß 15 l/min |           | O <sub>2</sub> -Zufluß 12 l/min |           | O <sub>2</sub> -Zufluß 15 l/min |           |
|---------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Zt in °C                        | rel. F. % | Zt in °C                        | rel. F. % | Zt in °C                        | rel. F. % |
| 20,5 +                          | 70        | 20,5 +                          | 72        | 21,0                            | 64        |
| 19,6 -                          | 56        | 20,0                            | 68        | 18,5                            | 64        |
| 20,0 +                          | 69        | 18,0 -                          | 58        | 20,0 +                          | 72        |
| 19,5 -                          | 56        | 19,3                            | 72        | 19,0 -                          | 56        |
| 20,0 +                          | 70        | 19,7 +                          | 74        | 20,0 +                          | 72        |
| 19,5 -                          | 57        | 19,0 -                          | 59        | 19,0 -                          | 57        |
| 20,0 +                          | 71        | 19,5 +                          | 74        | 20,0 +                          | 72        |
| 19,8 -                          | 56        | 18,8 -                          | 58        | 19,0 -                          | 56        |

Tab. 5a

Tab. 5b

Tab. 5c

+ = Thermostat schaltet ein

- = Thermostat schaltet aus

Zt = Zeltinnentemperatur in °C

rel. F. = rel. Feuchtigkeit im Zelt in %

diesen Messungen bei Tab. 5a 24,6°C, bei 5b 21°C und bei 5c 21,2°C. Dabei zeigten sich Schwankungen in der relativen Feuchtigkeit der Zeltluft in Abhängigkeit von der Arbeitsweise des Thermostaten. Bei Einschalten des Thermostaten sank mit der Temperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit im Zelt im Durchschnitt um 14,5 % ab.

### 3. Sauerstoffmessungen

#### a) O<sub>2</sub>-Messungen bei laufendem Betriebsaggregat

| Zeit in<br>min | O <sub>2</sub> -Konzentration in % |      |      | MW   |
|----------------|------------------------------------|------|------|------|
|                | I                                  | II   | III  |      |
| 0              | 21,0                               | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| 10             | 21,8                               | 22,0 | 21,9 | 21,9 |
| 20             | 23,2                               | 23,8 | 23,5 | 23,5 |
| 30             | 24,2                               | 25,2 | 25,0 | 24,8 |
| 40             | 25,5                               | 26,2 | 26,4 | 26,3 |
| 50             | 26,0                               | 27,0 | 27,4 | 26,8 |
| 60             | 26,4                               | 27,6 | 28,0 | 27,3 |
| 70             | 26,7                               | 28,2 | 28,4 | 27,8 |
| 80             | 27,0                               | 28,6 | 28,8 | 28,1 |
| 90             | 27,0                               | 28,8 | 29,0 | 28,3 |
| 100            | 27,0                               | 29,0 | 29,2 | 28,4 |
| 110            | 27,2                               | 29,0 | 29,2 | 28,5 |
| 120            | 27,2                               | 29,0 | 29,2 | 28,5 |
| 130            | 27,2                               | 29,0 | 29,2 | 28,5 |

Tab. 6  
4 l/min O<sub>2</sub>

| Zeit in<br>min | O <sub>2</sub> -Konzentration in % |      |      | MW   |
|----------------|------------------------------------|------|------|------|
|                | I                                  | II   | III  |      |
| 0              | 21,0                               | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| 10             | 23,0                               | 23,0 | 23,4 | 23,1 |
| 20             | 27,0                               | 26,0 | 27,4 | 26,8 |
| 30             | 29,0                               | 28,5 | 29,4 | 28,9 |
| 40             | 30,0                               | 29,8 | 31,0 | 30,2 |
| 50             | 30,8                               | 30,5 | 32,2 | 31,1 |
| 60             | 31,5                               | 31,2 | 33,0 | 31,9 |
| 70             | 31,8                               | 31,5 | 33,6 | 32,3 |
| 80             | 31,9                               | 31,8 | 34,0 | 32,5 |
| 90             | 31,9                               | 31,9 | 34,2 | 32,6 |
| 100            | 32,0                               | 32,0 | 34,4 | 32,8 |
| 110            | 32,0                               | 32,0 | 34,4 | 32,8 |
| 120            | 32,0                               | 32,0 | 34,4 | 32,8 |
| 130            | 32,0                               | 32,0 | 34,4 | 32,8 |

Tab. 7  
7 l/min O<sub>2</sub>

| Zeit in<br>min | O <sub>2</sub> -Konzentration in % |      |      | MW   |
|----------------|------------------------------------|------|------|------|
|                | I                                  | II   | III  |      |
| 0              | 21,0                               | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| 10             | 24,0                               | 26,5 | 28,0 | 26,2 |
| 20             | 28,0                               | 31,5 | 32,5 | 30,6 |
| 30             | 31,0                               | 34,0 | 35,0 | 33,3 |
| 40             | 32,8                               | 36,0 | 36,6 | 35,1 |
| 50             | 34,0                               | 37,4 | 38,0 | 36,5 |
| 60             | 35,0                               | 38,0 | 39,0 | 37,3 |
| 70             | 35,5                               | 38,4 | 39,5 | 37,8 |
| 80             | 35,8                               | 38,7 | 39,8 | 38,1 |
| 90             | 35,9                               | 39,0 | 40,0 | 38,3 |
| 100            | 36,0                               | 39,0 | 40,2 | 38,4 |
| 110            | 36,0                               | 39,0 | 40,2 | 38,4 |
| 120            | 36,0                               | 39,0 | 40,2 | 38,4 |
| 130            | 36,0                               | 39,0 | 40,2 | 38,4 |

Tab. 8  
10 l/min O<sub>2</sub>

| Zeit in<br>min | O <sub>2</sub> -Konzentration in % |      |      | MW   |
|----------------|------------------------------------|------|------|------|
|                | I                                  | II   | III  |      |
| 0              | 21,0                               | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| 10             | 26,0                               | 24,0 | 28,4 | 26,1 |
| 20             | 31,5                               | 31,0 | 33,0 | 31,8 |
| 30             | 34,0                               | 33,5 | 36,5 | 34,7 |
| 40             | 36,0                               | 35,5 | 38,0 | 36,5 |
| 50             | 36,8                               | 36,4 | 39,5 | 37,6 |
| 60             | 37,5                               | 37,0 | 40,5 | 38,3 |
| 70             | 37,9                               | 37,8 | 41,2 | 39,0 |
| 80             | 38,0                               | 38,0 | 41,5 | 39,2 |
| 90             | 38,0                               | 38,2 | 41,5 | 39,2 |
| 100            | 38,0                               | 38,2 | 41,5 | 39,2 |
| 110            | 38,0                               | 38,2 | 41,5 | 39,2 |
| 120            | 38,0                               | 38,2 | 41,5 | 39,2 |
| 130            | 38,0                               | 38,2 | 41,5 | 39,2 |

Tab. 9  
12 l/min O<sub>2</sub>

| Zeit in<br>min | O <sub>2</sub> -Konzentration in % |      |      | MW   |
|----------------|------------------------------------|------|------|------|
|                | I                                  | II   | III  |      |
| 0              | 21,0                               | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| 10             | 28,0                               | 27,5 | 29,0 | 28,2 |
| 20             | 34,0                               | 34,0 | 35,2 | 34,4 |
| 30             | 37,5                               | 36,8 | 40,0 | 38,1 |
| 40             | 40,0                               | 39,0 | 41,5 | 40,2 |
| 50             | 41,2                               | 40,0 | 43,0 | 41,4 |
| 60             | 41,8                               | 41,0 | 44,5 | 42,4 |
| 70             | 42,0                               | 41,8 | 45,5 | 43,1 |
| 80             | 42,0                               | 42,0 | 45,8 | 43,3 |
| 90             | 42,0                               | 42,0 | 46,0 | 43,3 |
| 100            | 42,0                               | 42,0 | 46,2 | 43,4 |
| 110            | 42,0                               | 42,0 | 46,2 | 43,4 |
| 120            | 42,0                               | 42,0 | 46,2 | 43,4 |
| 130            | 42,0                               | 42,0 | 46,2 | 43,4 |

Tab. 10  
15 l/min O<sub>2</sub>

Bei einem Sauerstoffzufluß von 4 Litern pro Minute ergab sich für die drei Meßreihen ein Mittelwert von 28,5 % O<sub>2</sub> (27,2; 29,0; 29,2) nach 110 Minuten. Nach Werksangabe sollten 30 % erreicht werden. Nach einer Stunde war die Konzentration im Durchschnitt 27,3 % O<sub>2</sub>.

Bei einem Sauerstoffzufluß von 7 l/min wurden im Durchschnitt 32,8 % erreicht. Sollwert 35 %. Der steady state stellte sich nach 100 Minuten ein. Höchster Wert bei einer Messung war 34,4 %, niedrigster Wert 32 %.

Bei einem Sauerstoffzufluß von 10 l/min betrug der erreichte Durchschnittswert 38,4 %. Höchster Einzelwert: 40,2 %, niedrigster Einzelwert: 36 %. Sollwert: 40 %. Der steady state stellte sich nach 100 Minuten ein.

Bei einem Sauerstoffzufluß von 12 l/min erreichten wir im Mittel 39,2 %. Der höchste Einzelwert war 41,5 %. Die niedrigste Konzentration betrug 38 %. Eine konstante Sauerstoffkonzentration war nach 90 Minuten erreicht.

Bei einem Sauerstoffzufluß von 15 l/min war der Durchschnittswert 43,4 %. Höchster Einzelwert: 46,2 %. Niedrigster Einzelwert: 42 %. Sollwert: 50 %. Der steady state stellte sich nach 100 Minuten ein.

#### b) O<sub>2</sub>-Messungen bei abgeschaltetem Betriebsaggregat

Bei Betrieb des Sauerstoffzeltes ohne Umwälzanlage und Thermostat betrug bei einem Sauerstoffzufluß von 4 l/min die O<sub>2</sub>-Konzentration im Zelt durchschnittlich 40,9 % nach 30 Minuten. Nach einer Stunde wurden 50,3 %, nach zwei Stunden 57,5 %, nach drei Stunden 60,5 % O<sub>2</sub> im Zelt gemessen. Nach vier Stunden waren es rund 62,0 %. Der höchste erreichte Einzelwert war bei einem Versuch 63,0 %, der niedrigste Einzelwert 61,2 %.

Bei den Messungen mit den übrigen Sauerstoffzuflußmengen wurde teilweise das Zelt II eingesetzt, da das bisher verwandte Modell nicht zur Verfügung stand.

Bei einem Sauerstoffzufluß von 7 l/min war bei Zelt I nach 60 Minuten eine Konzentration von 66,0 % im Zelt, bei Zelt II 42,0 %. Der höchste Wert bei Zelt II war nach 110 Minuten mit 46,2 % erreicht, bei Zelt I nach 140 Minuten mit 75,8 %.

Bei den Messungen mit 10 l/min O<sub>2</sub> betrug die O<sub>2</sub>-Konzentration bei Zelt I nach 60 Minuten 71,5 %, bei Zelt II 48,0 %. Als Endwert stellte sich bei Zelt II 52,5 % nach 120 Minuten ein, bei Zelt I 78,5 % nach 160 Minuten.

Bei einem  $O_2$ -Zufluß von 12 l/min war die  $O_2$ -Konzentration in Zelt I nach einer Stunde 75,5 %, bei Zelt II 56,0 %. Der Endwert betrug bei Zelt I 82,0 % nach 120 Minuten, bei Zelt II 65,5 % nach 150 Minuten.

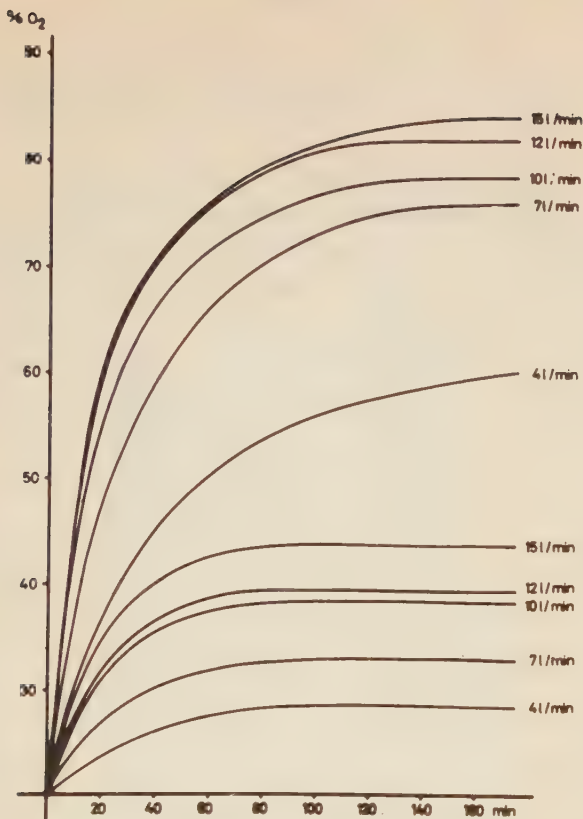
Bei einem Zufluß von 15 Litern  $O_2$  pro Minute waren nach einer Stunde 76,5 %  $O_2$  in Zelt I, 64,0 % in Zelt II. Höchste erreichte Konzentration betrug bei Zelt I 84,0 % nach 140 Minuten, bei Zelt II 70,0 % nach 130 Minuten.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in Tabelle 11 nur die Ergebnisse der Messungen mit Zelt I wiedergegeben.

| Zeit in<br>min | O <sub>2</sub> -Konzentration bei ausgeschalteter Umwälz-<br>anlage in % bei einem O <sub>2</sub> -Zufluß von: |         |          |          |          |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------|----------|
|                | 4 l/min                                                                                                        | 7 l/min | 10 l/min | 12 l/min | 15 l/min |
| 0              | 21,0                                                                                                           | 21,0    | 21,0     | 21,0     | 21,0     |
| 10             | 29,7                                                                                                           | 35,0    | 42,0     | 42,5     | 45,0     |
| 20             | 36,4                                                                                                           | 47,5    | 55,0     | 57,0     | 60,0     |
| 30             | 40,9                                                                                                           | 53,5    | 62,0     | 64,0     | 66,0     |
| 40             | 45,1                                                                                                           | 58,3    | 66,0     | 69,5     | 71,0     |
| 50             | 48,0                                                                                                           | 63,0    | 69,0     | 73,0     | 74,0     |
| 60             | 50,3                                                                                                           | 66,0    | 71,5     | 75,5     | 76,5     |
| 70             | 51,8                                                                                                           | 68,5    | 73,5     | 77,5     | 78,5     |
| 80             | 53,5                                                                                                           | 70,5    | 74,5     | 79,0     | 80,0     |
| 90             | 54,9                                                                                                           | 72,0    | 75,5     | 80,0     | 81,0     |
| 100            | 56,0                                                                                                           | 72,8    | 76,5     | 81,0     | 82,0     |
| 110            | 56,9                                                                                                           | 74,0    | 77,5     | 81,5     | 83,0     |
| 120            | 57,5                                                                                                           | 74,8    | 78,0     | 82,0     | 83,5     |
| 130            | 58,1                                                                                                           | 75,5    | 78,2     | 82,0     | 83,8     |
| 140            | 58,5                                                                                                           | 75,8    | 78,3     | 82,0     | 84,0     |
| 150            | 58,9                                                                                                           | 75,8    | 78,4     | 82,0     | 84,0     |
| 160            | 59,4                                                                                                           | 75,8    | 78,5     | 82,0     | 84,0     |
| 170            | 60,0                                                                                                           | 75,8    | 78,5     | 82,0     | 84,0     |
| 180            | 60,5                                                                                                           | 75,8    | 78,5     | 82,0     | 84,0     |

Tab. 11

Bei einem Sauerstoffzufluß von 4 l/min wurde der steady state erst nach 250 Minuten mit einer Konzentration von 62,1 % erreicht.



In Abbildung 4 ist der Anstieg der Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit und der  $O_2$ -Zuflußmenge dargestellt. Die unteren fünf Kurven stellen die Mittelwerte der drei Messungen mit laufendem Betriebsaggregat dar. Die Endkonzentration wurde durchschnittlich nach 100 Minuten erreicht. (Die Werte wurden den Tabellen 6-10 entnommen.) Die obere Kurvenschar entspricht der  $O_2$ -Konzentration bei abgeschaltetem Betriebsaggregat. (Die Werte wurden der Tabelle 11 entnommen.) Dabei liegt die Kurve, die einem  $O_2$ -Zufluß von 4 l/min entspricht, tief und zeigt einen atypischen Verlauf. Die Ursache dieser Abweichung ist uns nicht bekannt und dürfte wahrscheinlich auf einen Fehler am Zeltaufbau (undichte Stellen) zurückzuführen sein.

4. Vergleich zwischen BECKMAN - Oxygen-Analyzer  
und der Mikromethode nach SCHOLANDER

| BECKMAN<br>% O <sub>2</sub> | SCHOLANDER<br>% O <sub>2</sub> |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 19,8                        | 20,9                           |
| 20,0                        | 20,8                           |
| 20,0                        | 20,9                           |
| 30,0                        | 29,3                           |
| 30,5                        | 30,5                           |
| 30,5                        | 30,5                           |
| 38,0                        | 38,2                           |
| 43,6                        | 43,8                           |
| 45,5                        | 44,8                           |
| 46,0                        | 47,8                           |
| 46,0                        | 48,0                           |
| 46,3                        | 47,5                           |
| 46,5                        | 46,9                           |
| 46,5                        | 46,9                           |

Tab. 12

Die Meßwerte der beiden Bestimmungsmethoden liegen nahe beieinander. Als höchste Abweichung wurde + 2,0 % und - 0,7 % festgestellt. Allerdings fiel auf, daß bei den 14 Messungen zehnmal ein höherer Wert mit der SCHOLANDER-Methode gemessen wurde als mit dem BECKMAN - Oxygen-Analyzer. Bildet man aus diesen Messungen jeweils den Mittelwert, so liegen die Werte nach der SCHOLANDER-Methode mit 36,91 % ganz allgemein etwas höher als die Werte nach dem BECKMAN - Oxygen-Analyzer mit 36,37 %. Der Unterschied dürfte durch die verschiedene Wasserdampfsättigung bedingt sein.

# 5. Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Messungen bei einem konstanten CO<sub>2</sub>-Zufluß von 500 ccm/min

Bei einem Sauerstoffzufluß von 4 l/min war die CO<sub>2</sub>-Endkonzentration nach 2 1/2 Stunden 0,37 % bei laufendem Betriebsaggregat, bei 7 l/min waren nach 2 Stunden 0,37 % CO<sub>2</sub>, bei einem O<sub>2</sub>-Zufluß von 10 l/min ergab sich nach 2 Stunden ein Durchschnittswert von 0,36 % CO<sub>2</sub>.

Bei einem O<sub>2</sub>-Zufluß von 12 l/min ergaben sich 0,40 % CO<sub>2</sub> nach 3 Stunden und bei einem O<sub>2</sub>-Zufluß von 15 l/min nach 3 Stunden eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 0,36 %.

| O <sub>2</sub> -Zufluß<br>l/min | CO <sub>2</sub> % |
|---------------------------------|-------------------|
| 4                               | 0,37              |
| 7                               | 0,37              |
| 10                              | 0,36              |
| 12                              | 0,40              |
| 15                              | 0,36              |

Tab. 13

## DISKUSSION

Das  $O_2$ -Zelt nimmt heute einen festen Platz in der Therapie von Erkrankungen vielfältiger Genese ein, bei denen eine Verabreichung sauerstoffangereicherter Einatemluft zweckmäßig erscheint. Als besonderer Vorteil ist dabei zu werten, daß die Temperatur der Zeltatmosphäre innerhalb gewisser Grenzen reguliert werden kann. Messungen der  $O_2$ -Konzentration in der Einatemluft haben ergeben, daß zum Beispiel bei Verwendung eines Nasenkatheters zur  $O_2$ -Insufflation keine höhere Konzentration erreicht werden kann als im  $O_2$ -Zelt (ZINGG). Außerdem stößt die Verwendung eines Nasenkatheters vor allen Dingen bei Säuglingen und Kleinkindern oft auf Schwierigkeiten. Die Verabreichung von sehr hohen  $O_2$ -Konzentrationen ist nur mit einer dicht schließenden Gesichtsmaske oder während der künstlichen Beatmung, in Narkose oder auch in einer Sauerstoffüberdruckkammer möglich, wovon jedoch hier nicht die Rede sein soll. Es muß daran gedacht werden, daß  $O_2$ -Konzentrationen über 50 % auch Gefahren für den Patienten mit sich bringen können, vor allen Dingen bei länger dauernder Anwendung, wie z. B. die retrolentäre Fibroplasie bei Frühgeburten (MÜRTZ, FLEISCH, BECKER-FREYSENG, LOCHNER). Beim Sauerstoffzelt besteht weniger die Gefahr der zu hohen Sauerstoffkonzentration als vielmehr die der  $CO_2$ -Anreicherung, aber auch nur dann, wenn Störungen am Betriebsaggregat vorliegen. Neben der Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit haben wir daher unser Augenmerk vor allen Dingen auf die im Zelt vorhandenen  $O_2$ - und  $CO_2$ -Konzentrationen gerichtet.

Die Messungen wurden ohne Versuchsperson durchgeführt, doch glauben wir nicht, daß dadurch wesentliche Fehler in der Interpretation der Daten entstanden sind.

Die Temperatur der Zeltatmosphäre ist abhängig von der Leistungsfähigkeit des Kühlaggregates. Eine wesentliche Rolle spielt die Wärmeproduktion des Patienten und die Umgebungstemperatur. Vergleichende Messungen zwischen dem eingebauten Gerätethermometer und einem ins Zelt gehängten geeichten Thermometer ergaben eine Übereinstimmung von rund  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Temperaturschwankungen im Zelt werden bei sonst unveränderten Bedingungen durch den Thermostaten bedingt, der das Kühlaggregat steuert. Er läßt Temperaturschwankungen von circa  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  um die eingestellte Temperatur zu.

Während sich die Temperatur im Zeltinnern innerhalb gewisser Grenzen weitgehend konstant erhalten läßt, trifft dies für die relative Feuchtigkeit nicht zu. Laut Werksangabe soll sie sich zwischen 45 und 50 % während des Betriebes bewegen. Wir fanden erheblich größere Schwankungen, nämlich 56-72 %, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß sich im Zelt keine Versuchsperson befand, die eine mehr oder weniger große und verhältnismäßig konstante Menge an Feuchtigkeit an die Zeltatmosphäre abgibt (Wasserdampf in der Ausatemluft und Transpiration, ca. 900 g/die, GEIGY-Tabellen). Es zeigte sich, daß jeweils nach Einschalten des Kühlaggregates die relative Feuchtigkeit abfiel und daß dies auch noch eine gewisse Zeit nach Abschalten des Aggregates anhielt, infolge seiner noch kalten Oberfläche. Demnach bestand die höchste relative Luftfeuchtigkeit unmittelbar vor Einschalten des Kühlaggregates und die niedrigste relative Feuchtigkeit nach Abschalten der Kühlvorrichtung. Das Kühlaggregat wird um so häufiger eingeschaltet, je schneller die Temperatur im Zelt ansteigt, was z.B. bei hoher Außentemperatur oder auch bei starker Wärmeabgabe durch den Patienten der Fall sein wird. Die ständig arbeitende Luftumwälzanlage hat eine hohe Förderleistung von ca. 650 l/min, so daß das gesamte Zeltvolumen in etwa zwei Minuten vollständig umgewälzt werden mußte. In diesem Fall könnte sich die relative Feuchte im Zelt nach Abschalten des Aggregates auf ca. 50 % eingestellt haben. Die umge-

wälzte Luft verläßt das Aggregat nämlich mit einer Temperatur von  $8^{\circ}\text{C}$ . Bei einer Laufzeit des Kühlaggregates von einer Minute würden demnach 500 l Luft von  $20^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Feuchte von beispielsweise 50 % auf etwa  $+8^{\circ}\text{C}$  abgekühlt werden, wobei diese Luft eine Sättigungsfeuchte von ca. 7,3 g/cbm erreichen würde. Ihre Vermischung mit dem Rest der Zeltatmosphäre und Wiedererwärmung auf  $20^{\circ}\text{C}$  würde wiederum im Zelt eine relative Feuchte von 50 % ergeben. Dies ist jedoch nur ein Modellfall, der in den seltensten Fällen zutreffen wird, wie unsere Messungen der relativen Feuchte gezeigt haben.

Es soll noch erwähnt werden, daß die Feuchtigkeit eine Rolle spielt bei der Berechnung der Flüssigkeitszufuhr. Da die Einatemluft in der Lunge eine relative Feuchte von 100 % in Abhängigkeit von der Körpertemperatur erreicht, wird der Bedarf an Wasser um so größer, je höher die Körpertemperatur und je trockener die Einatemluft ist. Bei tracheotomierten Patienten ist eine relative Feuchte von 50 % nicht ausreichend, da die Klimatisierung der Einatemluft durch die oberen Luftwege wegfällt.

Die Bestimmung der Sauerstoff-Konzentration im Zelt war durch die Verwendung eines BECKMAN-Sauerstoffmessers in kurzen Zeitabständen möglich. Da das Gerät nur eine relativ grobe Anzeige hat und auf der von 0 bis 100 reichenden Skala mit einem breiten Lichtzeiger höchstens ganze Prozente einigermaßen sicher abzulesen sind, wurden Vergleichsmessungen zwischen dem BECKMAN- $\text{O}_2$ -Analyzer und der Mikromethode nach SCHOLANDER durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß der BECKMAN- $\text{O}_2$ -Analyzer um rund 0,5 bis 1 % unter den Werten der Mikromethode nach SCHOLANDER lag. Die Meßgenauigkeit des BECKMAN-Oxygen-Analyzer ist aber für die Erfordernisse in einem  $\text{O}_2$ -Zelt völlig ausreichend.

Die von uns in einem leeren Zelt gemessenen  $O_2$ -Konzentrationen in Abhängigkeit von der  $O_2$ -Zuflußmenge lagen bei eingeschaltetem Betriebsaggregat bei durchschnittlich 28,5 %, 32,8 %, 38,4 %, 39,2 % und 43,4 % entsprechend einem  $O_2$ -Zufluß von 4, 7, 10, 12 und 15 l/min.

Unsere Werte lagen durchweg etwas tiefer als die vom Werk angegebenen und hingen in erster Linie davon ab, ob das Zelt unerwünschte Undichten aufwies oder nicht. Ob das Zeltvolumen dabei eine Rolle spielte, kann nicht entschieden werden. Jedenfalls ist die Zelthülle selbst aus sehr dichtem Kunststoffmaterial. Auch wurde beim Aufbau darauf geachtet, daß das Zeltvolumen in etwa gleich blieb und ca. 1 cbm betrug. Die Tatsache, daß bei dem zweiten von uns verwendeten Modell, dessen Betriebsaggregat sich am Kopfende des Bettes befindet, trotz gleichen Volumens erheblich geringere  $O_2$ -Konzentrationen erreicht wurden, kann eigentlich nur durch Lecks an irgendwelchen Stellen erklärt werden. Auch der Umstand, daß das Rotameter bis zu  $\pm 15$  % vom Endwert (15 l/min) abweichen kann, ist für die erhebliche Differenz keine ausreichende Erklärung. Es handelte sich allerdings um Vergleichsmessungen bei abgeschaltetem Betriebsaggregat, was im normalen Betrieb nicht vorgesehen und gefährlich ist.

Um festzustellen, welche Zeit benötigt wird, um bei einem  $O_2$ -Zufluß von 4 bis 15 Litern pro Minute und eingeschalteter Luftumwälzanlage die dem Zufluß entsprechende jeweilige Endkonzentration zu erreichen, führten wir eine größere Anzahl von Sauerstoffmessungen im Zelt im Abstand von 10 Minuten durch. Vor dem Versuch befand sich jeweils Raumluft in der Zelthülle. Es zeigte sich, daß durchschnittlich 100 Minuten erforderlich waren, um die Endkonzentration zu erreichen. Dies ist außerordentlich nachteilig für Patienten, die auf eine erhöhte  $O_2$ -Konzentration im Zelt angewiesen sind, da jedes Öffnen des Zeltes mit einem erheblichen Abfall meist fast auf Raumverhältnisse verbun-

den ist. Aus diesem Grunde wurde von uns die Forderung aufgestellt, Sauerstoffzelte mit einem  $O_2$ -Bypass auszurüsten, der es infolge einer sehr hohen Zuflußmenge ermöglicht, die gewünschte  $O_2$ -Konzentration jeweils innerhalb weniger Minuten zu erreichen. Der BECK-MAN-Sauerstoff-Messer ist dabei eine wertvolle Hilfe.

Sauerstoffmessungen bei abgeschaltetem Betriebsaggregat waren ein Beweis für die Überlegung, daß bei dem dadurch erheblich verminderten Spüleffekt zwar eine sehr hohe  $O_2$ -Konzentration zu erreichen ist, daß aber andererseits damit eine erhebliche  $CO_2$ -Ansammlung in der Zeltatmosphäre zu erwarten ist.  $CO_2$ -Messungen unter diesen Umständen wurden allerdings nicht vorgenommen. Es wurde lediglich festgestellt, daß bei einem  $O_2$ -Zufluß von 4 bis 15 Litern pro Minute nach erreichter Endkonzentration die Zufuhr von 500 ccm  $CO_2$  pro Minute eine  $CO_2$ -Konzentration von rund 0,37 % ergab und zwar bei eingeschalteter Luftumwälzung nach Erreichen eines steady state, was etwa der zu erwartenden  $CO_2$ -Konzentration entspricht (siehe unten). Bei abgeschaltetem Betriebsaggregat wäre demnach eine wesentlich höhere  $CO_2$ -Konzentration zu erwarten gewesen, wie aufgrund theoretischer Überlegungen später noch gezeigt werden soll. Der Unsicherheitsfaktor bezüglich der  $CO_2$ -Eliminierung aus der Zeltatmosphäre beim Dräger-Zelt konnte zwar durch Verlassen der chemischen Absorptionsmethode zugunsten einer  $CO_2$ -Auswaschvorrichtung in Form von Frischluftzufuhr wesentlich verringert werden. Doch besteht auch dann noch die Gefahr einer  $CO_2$ -Anreicherung auf gefährliche Werte, nämlich, wenn das Aggregat z. B. durch Stromausfall stehen bleibt. In diesem Falle muß die Zelthülle weit geöffnet bzw. entfernt werden. Man würde zwar ein "erfreuliches" Ansteigen der  $O_2$ -Konzentration im Zelt feststellen können, doch könnte der damit verbundene Anstieg der  $CO_2$ -Konzentration für den Patienten gefährlich werden, dies um so mehr, als die  $CO_2$ -Konzentration im Zelt im allgemeinen nicht gemessen wird und auch nicht ohne großen Aufwand durch physikalische

Methoden gemessen werden kann.

Die Konzentration von Sauerstoff und Kohlendioxyd in einem Sauerstoffzelt hängt also nicht nur von der Sauerstoffzufuhrmenge und der  $\text{CO}_2$ -Produktion, sondern auch entscheidend von dem Gasaustausch zwischen Zeltatmosphäre und Außenluft ab. Nach JAHN spielen dafür folgende Faktoren eine Rolle:

1. Ein mechanischer Pumpeffekt, der durch Bewegungen eines Patienten auf der Matratze zustande kommt. Er läßt sich mengenmäßig nicht erfassen und blieb daher unberücksichtigt.
2. Ein mechanischer Spülvorgang infolge Zufuhr von Frischluft und Sauerstoff. BARACH hat bereits 1947 beschrieben, daß eine hohe  $\text{O}_2$ -Zufuhr einen  $\text{CO}_2$ -Anstieg verhindern kann. Durch diesen Spülvorgang wird ein entsprechendes Volumen aus dem Zelt verdrängt.
3. Unabhängig davon findet ein Gasaustausch durch Diffusion statt. Jeder Liter Gas, der das Zelt verläßt, wird durch einen Liter Gas ersetzt.

Nach einer Formel von JAHN, auf die auch bereits FREEDMAN Bezug genommen hat und die von uns modifiziert wurde, läßt sich der Zusammenhang zwischen Gaszufuhr, Gasaustausch und Sauerstoffkonzentration in einem Zelt unter der Voraussetzung, daß eine konstante Sauerstoffkonzentration (steady state) besteht, folgendermaßen ausdrücken:

$$E \frac{21}{100} + L \frac{21}{100} + M = E \frac{x}{100} + L \frac{x}{100} + M \frac{x}{100} .$$

Dabei bedeutet E das Diffusionsvolumen, L die zugeführte Frischluftmenge und M diejenige Sauerstoffzufuhrmenge in l/min, welche die konstante  $\text{O}_2$ -Konzentration x im Zelt aufrechterhält. Die Gleichung

bringt den Gasaustausch zwischen Zelt und Raumluft zum Ausdruck. Die linke Seite entspricht dem Gaszufluß, die rechte Seite dem Gasabfluß. Wenn im Zelt atmosphärischer Druck herrscht, muß der Gaszufluß selbstverständlich dem Gasabfluß gleichen.

Um die  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Zelt zu berechnen, muß man das gesamte Gasvolumen, welches das Zelt pro Minute verläßt, kennen. Es setzt sich aus Diffusions-, Luft- und Sauerstoffvolumen zusammen und entspricht daher der Summe  $E + L + M$ .  $E + L$  ergibt sich bei Auflösung der oben angeführten Gleichung:

$$E + L = \frac{M (100 - x)}{x - 21}$$

Da der Wert für den  $\text{O}_2$ -Zufluß bekannt ist, ist auch das Gesamtaustauschvolumen  $E + L + M$  bekannt.

| $\text{O}_2$ % | E + L + M bei einem M von: |        |        |        |          |
|----------------|----------------------------|--------|--------|--------|----------|
|                | 4                          | 7      | 10     | 12     | 15 l/min |
| 25             | 79,00                      | 138,25 | 197,50 | 237,00 | 296,25   |
| 30             | 35,11                      | 61,39  | 87,77  | 105,24 | 131,55   |
| 35             | 22,56                      | 39,48  | 56,40  | 67,68  | 84,60    |
| 40             | 16,64                      | 29,12  | 41,60  | 49,92  | 62,40    |
| 45             | 13,16                      | 23,03  | 32,90  | 39,48  | 49,35    |
| 50             | 10,88                      | 19,04  | 27,20  | 32,64  | 40,80    |
| 55             | 9,28                       | 16,24  | 23,20  | 27,84  | 34,80    |
| 60             | 8,10                       | 14,17  | 20,20  | 24,24  | 30,30    |
| 65             | 7,16                       | 12,53  | 17,90  | 21,48  | 26,85    |
| 70             | 6,44                       | 11,28  | 16,12  | 19,35  | 24,18    |
| 75             | 5,84                       | 10,22  | 14,60  | 17,52  | 21,90    |
| 80             | 5,36                       | 9,37   | 13,39  | 16,08  | 20,10    |
| 85             | 4,92                       | 8,61   | 12,30  | 14,76  | 18,45    |
| 90             | 4,58                       | 8,02   | 11,44  | 13,73  | 17,17    |

Tab. 14

In Tabelle 14 haben wir für verschiedene Sauerstoffzuflußmengen und für verschiedene  $O_2$ -Konzentrationen im Zelt das Gesamtaus-tauschvolumen  $E + L + M$  errechnet.

Um die  $CO_2$ -Konzentration im Zelt zu berechnen, haben wir eine  $CO_2$ -Produktion von 250 ccm/min zugrunde gelegt. Diese  $CO_2$ -Menge muß im steady state auf dem Weg über den Gasaustausch ständig das Zelt verlassen. Da wir das gesamte Gasvolumen, welches das Zelt pro Minute verläßt, errechnet haben, können wir somit die  $CO_2$ -Kon-zentration im Zelt auf folgende Weise ebenfalls berechnen:

$$C_{CO_2} = \frac{0,25}{E+L+M} \cdot 100 \quad \left[ \begin{array}{c} \% \end{array} \right] .$$

Mit dieser Formel wurden die Werte in Tabelle 15 errechnet. Sie sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt.

| $O_2$ % | $C_{CO_2}$ in % bei einem $O_2$ -Zufluß M von: |      |      |      |          |
|---------|------------------------------------------------|------|------|------|----------|
|         | 4                                              | 7    | 10   | 12   | 15 l/min |
| 25      | 0,32                                           | 0,18 | 0,13 | 0,10 | 0,08     |
| 30      | 0,71                                           | 0,41 | 0,28 | 0,24 | 0,19     |
| 35      | 1,11                                           | 0,63 | 0,44 | 0,37 | 0,30     |
| 40      | 1,50                                           | 0,86 | 0,60 | 0,50 | 0,40     |
| 45      | 1,89                                           | 1,08 | 0,76 | 0,63 | 0,50     |
| 50      | 2,29                                           | 1,31 | 0,92 | 0,76 | 0,61     |
| 55      | 2,69                                           | 1,54 | 1,08 | 0,90 | 0,72     |
| 60      | 3,09                                           | 1,77 | 1,24 | 1,03 | 0,83     |
| 65      | 3,49                                           | 1,99 | 1,40 | 1,16 | 0,93     |
| 70      | 3,87                                           | 2,22 | 1,55 | 1,29 | 1,03     |
| 75      | 4,28                                           | 2,45 | 1,70 | 1,43 | 1,14     |
| 80      | 4,66                                           | 2,66 | 1,86 | 1,56 | 1,24     |
| 85      | 5,08                                           | 2,90 | 2,02 | 1,69 | 1,35     |
| 90      | 5,48                                           | 3,12 | 2,18 | 1,82 | 1,46     |

Tab. 15

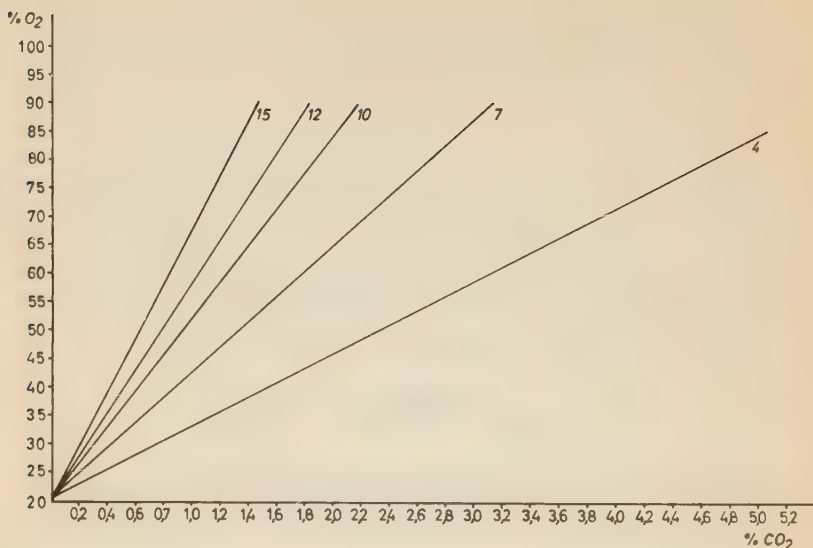


Abb. 5

Graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen  $C_{O_2}$  und  $C_{CO_2}$  bei einem  $O_2$ -Zufluß von 4, 7, 10, 12 und 15 l/min.

Aus dieser Abbildung ersieht man, daß die  $CO_2$ -Konzentration im Zelt mit der  $O_2$ -Konzentration im Zelt linear ansteigt. Weiter kommt zum Ausdruck, daß die  $CO_2$ -Konzentration im Zelt bei größerer  $O_2$ -Zuflußmenge und damit höheren  $O_2$ -Werten niedriger ist. Der  $CO_2$ -Gehalt könnte also, wenn nur eine geringe  $O_2$ -Zuflußmenge zugeführt wird, bei abgeschalteter Luftumwälzung ganz erheblich ansteigen. Bei unseren Messungen mit 500 ml  $CO_2$  pro Minute stellte sich folgendes heraus:

Bei fast allen eingestellten Literzahlen lag die  $CO_2$ -Konzentration bei ca. 0,40 %. Es zeigte sich, daß die errechneten und gemessenen  $CO_2$ -Werte bei Zugrundelegen der in anderen Versuchen erreichten  $O_2$ -Kon-

zentrationen relativ gut übereinstimmen.

Der Zusammenhang zwischen den genannten Größen, nämlich Gesamtaustauschvolumen  $E + L + M$ , Sauerstoffzuflußmenge  $M$ ,  $O_2$ - und  $CO_2$ -Konzentration läßt sich in einem Nomogramm darstellen.

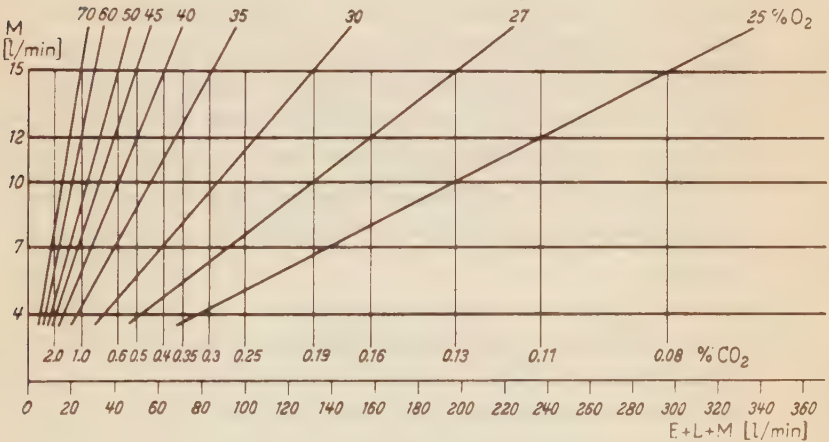


Abb. 6

Nomogramm zur Darstellung der Relation zwischen Sauerstoffzufluß in Liter/min,  $O_2$ -Konzentration,  $CO_2$ -Konzentration und Gesamtaustauschvolumen  $E + L + M$  in Liter/min bei einem  $CO_2$ -Zufluß von 250 ccm/min.

Parallel zur Abszisse verlaufen Geraden, die verschiedenen Sauerstoffzuflußmengen von 4, 7, 10, 12 und 15 l/min entsprechen, Parallel zur Ordinate sind Geraden eingetragen, die verschiedene  $CO_2$ -Konzentrationen zwischen 0,08 und 2 % wiedergeben. Die Geraden für  $O_2$ -Zufuhr und  $CO_2$ -Konzentration schneiden sich mit solchen, die vom

Nullpunkt her fächerförmig auseinanderlaufen und  $O_2$ -Konzentrationen im Zelt entsprechen. Bei der Konstruktion wurde darauf geachtet, möglichst viele gemeinsame Schnittpunkte zu bekommen. Schließlich ist auf der Abszisse das Gesamtaustauschvolumen  $E + L + M$  (Diffusion, Frischluftzufuhr und Sauerstoffzufluß in Litern pro Minute) abgetragen.

Mit Hilfe des Nomogrammes können für jedes  $O_2$ -Zelt bei zwei bekannten Größen die restlichen Größen abgelesen werden, vorausgesetzt, daß ein steady state besteht. Es wurde für eine  $CO_2$ -Produktion von 250 ccm/min errechnet. Da die Sauerstoffzuflußmenge in l/min am Rotameter des Zeltaggregates abgelesen werden kann, ist nur die Bestimmung der Sauerstoffkonzentration im Zelt erforderlich, um die übrigen Größen ( $CO_2$ -Konzentration und Gesamtaustauschvolumen) abzulesen.

Bei optimalem Betrieb des Zeltes beträgt die höchste erreichbare Sauerstoffkonzentration im Zelt 50 %. Laut Werksangabe ist dies bei einer Sauerstoffzuflußmenge von 15 l/min der Fall. Die  $CO_2$ -Konzentration würde dann 0,6 % betragen und das Gesamtaustauschvolumen  $E + L + M$  wäre 41 Liter. Nach Abzug von 15 Liter Sauerstoffzufluß und 23 Liter für Frischluftzufuhr blieben nur 3 Liter Diffusionsvolumen übrig. Dies kann bei optimalem Aufbau des Zeltes erreicht werden, d.h. es dürfte praktisch kein Leck bestehen. Je größer dieses Leck wird, um so größer wird der Gasverlust und die Sauerstoff- und  $CO_2$ -Konzentration wird entsprechend kleiner, was aus folgendem Beispiel hervorgeht. Wird bei einem  $O_2$ -Zufluß von 15 l/min eine Sauerstoffkonzentration von 25 % erreicht, dann beträgt das Gesamtaustauschvolumen ca. 296 Liter. Nach Abzug von  $O_2$ -Zufuhr und Frischluftzufuhr von zusammen 38 Litern bleiben noch 258 Liter für die Diffusionsmenge übrig. Das Zelt müßte demnach größere Lecks aufweisen (Reißverschluß offen etc.) und die  $CO_2$ -Konzentration würde mit

etwa 0,08 % niedrig liegen. Würde man dagegen bei 15 Liter/min Sauerstoffzufluß eine  $O_2$ -Konzentration von 10 % messen, dann wäre mit einer  $CO_2$ -Konzentration von über 1 % zu rechnen und für E+L+M ergäbe sich eine Menge von 25 Liter/min. Da nach Abzug von 15 Liter Sauerstoffzufluß nur 10 Liter für Frischluftzufuhr verbleiben, muß eine Störung des Betriebsaggregates angenommen werden.

## ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

An einem Sauerstoffzelt moderner Bauart wurden Messungen der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit, der  $O_2$ - und der  $CO_2$ -Konzentration vorgenommen, wobei die Konzentration von Sauerstoff auch bei abgeschaltetem Betriebsaggregat gemessen wurde. Das Zelt wurde ohne Patient betrieben. Dafür wurde in einem Versuch die  $CO_2$ -Abgabe durch einen kontinuierlichen Zufluß von 500 ccm  $CO_2$ /min imitiert. Die relative Feuchte im Zelt wies stärkere Schwankungen auf in Abhängigkeit vom Betrieb des Kühlaggregates. Der entscheidende Einfluß der Luftumwälzanlage mit Frischluftzufuhr für den Abtransport von  $CO_2$  aus dem Zelt kam bei den Versuchen klar zum Ausdruck. Anhand der Meßergebnisse konnte mit Hilfe theoretischer Überlegungen und unter Verwendung einer nach JAHN modifizierten Formel ein Nomogramm entwickelt werden, das über Einzelfunktionen des Sauerstoffzeltes Aufschluß gibt, indem es die gegenseitige Abhängigkeit von vier Größen zueinander darstellt, nämlich Sauerstoffzuflußmenge, Gesamtaustauschvolumen zwischen Zeltatmosphäre und Umgebung,  $CO_2$ -Konzentration und  $O_2$ -Konzentration. Das Nomogramm hat im Prinzip für jedes Zelt Gültigkeit. Sein Vorteil besteht darin, daß die Bestimmung zweier Größen genügt, um andere abzulesen. Am zweckmäßigsten ist bei bekanntem  $O_2$ -Zufluß die Messung der Sauerstoffkonzentration, die unter Ausnützung der paramagnetischen Wirkung des Sauerstoffs jederzeit und mit ausreichender Genauigkeit mit dem Sauerstoffmesser von BECKMAN bestimmt werden kann. Interessante Schlußfolgerungen können an dem Nomogramm direkt abgeleitet werden. Die für die Sicherheit des Patienten wichtigste ist, daß die gegenseitige Abhängigkeit von Sauerstoff- und  $CO_2$ -Konzentration zahlenmäßig abgelesen werden kann.

Im einzelnen ergeben sich folgende Zusammenhänge:

1. Die in einem Zelt erreichbare Sauerstoffkonzentration hängt von der Sauerstoffzuflußmenge und vom Gesamtaustauschvolumen ab. Eine nennenswerte Steigerung der  $O_2$ -Konzentration im Zelt durch Erhöhung des Sauerstoffzuflusses ist nur dann zu erwarten, wenn das Gesamtaustauschvolumen etwa  $L + M$  entspricht.
2. Je niedriger die Sauerstoffzuflußmenge  $M$  ist, die im Zelt eine hohe  $O_2$ -Konzentration herbeiführt, desto höher wird die  $CO_2$ -Konzentration.
3. In einem regelrecht funktionierenden Zelt, dessen Aufbau nicht verändert wird, ist im steady state die  $CO_2$ -Konzentration im Zelt allein von der Größe des Gesamtaustauschvolumens abhängig und verhält sich umgekehrt proportional zu diesem. Die Erhöhung der Sauerstoffkonzentration durch Vermehrung des  $O_2$ -Zuflusses hat keinen wesentlichen Einfluß auf die  $CO_2$ -Konzentration.
4. Mit Hilfe dieses Nomogrammes kann allein aufgrund von Bestimmungen der Sauerstoffkonzentration die Funktion eines Zeltes zuverlässig beurteilt werden.



An dieser Stelle möchte ich Herrn Privatdozent Dr. K. Rehder vielmals danken für die Überlassung des Themas und die wertvolle Unterstützung bei meiner Arbeit.

Außerdem bin ich ihm und Herrn Dr. Hessler verpflichtet für viele Diskussionen zum Thema. Auch Frau Marlis Krüsselmann und Frl. Doris Nau gilt mein Dank für die zahlreichen Gasanalysen.

Besonders dankbar bin ich auch Herrn Prof. Dr. W. Wachsmuth, Direktor der Chirurgischen Universitätsklinik Würzburg, für die Überlassung eines Arbeitsplatzes und der zahlreichen Geräte, ohne die mir die technische Ausführung meiner Messungen nicht möglich gewesen wäre.

LITERATUR

- ANDREWS, A.H.                      Manual of oxygen therapy techniques.  
Chicago: Year Book Publ.Inc. (1943)
- BARACH, A.L.                        A new oxygen tent.  
J.A.M.A. 87, 1213-1214 (1926)
- BARACH, A.L.                        The use of an injector meter for maintenance  
of a prescribed oxygen concentration and  
elimination of carbon dioxide in closed head  
tents.  
Amer. J. Med. 3, 181-184 (1947)
- BARACH, A.L.                        Historical background.  
Symposion-Inhalation-Therapy.  
Anesthesiology 23, 407-596 (1962)
- BECKER-FREYSENG, H.  
und CLAMANN, H.G.                Zur Frage der Sauerstoffvergiftung.  
Klin. Wschr. 18, 1382-1385 (1939)
- CAMPBELL, J.A. and  
POULTON, E. P.                    Oxygen and carbon dioxide therapy.  
Oxford University Press (London) 1938
- FAULCONER, A. J.  
and KEYS, Th. E.                  Foundations of Anesthesiology.  
Charles C. Thomas Publisher, Springfield,  
Illinois, Band 1, 41 (1965)
- FREEDMAN, B. J.                    Oxygen and carbon dioxide concentrations  
in oxygen tents.  
Thorax 19, 568-570 (1964)
- FLEISCH, A. O.                    Toxizität und therapeutische Anwendung des  
Sauerstoffes.  
Helv. Med. Acta 25, 706-726 (1958)
- HILL, L.                            A simple oxygen bed tent and its use in a  
case of edema and chronic ulcer of the leg.  
J. Physiol., Proc. Physiol. Soc. 55, 20-21  
(1921)
- JAHN, R. E.                        An examination of oxygen and carbon dioxide  
concentration in adult Oxygen tent.  
Brit. J. Anaesth. 25, 188-203 (1953)

- LOCHNER, W.                      Toxische Wirkung hoher Sauerstoffdrucke  
auf den Menschen.  
Dtsch. Med. Wschr. 83, 187-189 (1958)
- MÜRTZ, R.                        Nutzen und Gefahren der Sauerstoffatmung.  
Dtsch. Med. Wschr. 48, 2470-2478 (1962)
- PALMER, R.S.                    Oxygen-therapy in treatment of pneumonia  
and postoperative pulmonary complications.  
New England J. Med. 200, 330-332 (1929)
- SCHOLANDER, P.F.              Analyzer for accurate estimation of respiratory  
gases in one-half cubic centimeter samples.  
J. Biol. Chem. 167, 235-250 (1947)
- ZINGG, W.                        Experimentelle Untersuchungen über die  
Verfahren der O<sub>2</sub>-Behandlung.  
Helv. Med. Acta 27, 367-382 (1960)

## LEBENS LAUF

Am 3. Juli 1939 wurde ich, Siegfried Alexander Glück, als Sohn des Kanzleisekretärs Josef Glück und seiner Ehefrau Theresia Glück, geb. Dröber, in Kaufbeuren/Allgäu geboren.

Von 1945 bis 1949 besuchte ich die Volksschule in Kaufbeuren. Von 1949 bis 1955 war ich am humanistischen Gymnasium zu St. Ottilien. Von dort wechselte ich dann an das humanistische Gymnasium der Oberrealschule mit Gymnasium Kaufbeuren über, wo ich 1959 das Reifezeugnis erhielt.

Mein Medizinstudium begann ich im Wintersemester 1959/60 an der Universität Erlangen-Nürnberg. Dort bestand ich 1961 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und 1962 die ärztliche Vorprüfung.

Den klinischen Teil des Studiums verbrachte ich an der Universität Würzburg. Hier legte ich von August bis Dezember 1965 das medizinische Staatsexamen ab.

Von Februar 1966 bis Ende September 1966 war ich als Medizinalassistent am Pathologischen Institut der Universität Würzburg tätig. Seit Oktober 1966 bin ich als Medizinalassistent auf der chirurgischen Abteilung der Missionsärztlichen Klinik Würzburg.

---

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationsthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe.

Siegfried Glück







**BÖHLER-DRUCK**

87 WÜRZBURG, Wirsbergstr. 10  
Tel. 54143